

КООПЕРАТИВНАЯ СИСТЕМА СВЯЗИ НА БАЗЕ МАЛЫХ СПУТНИКОВ

В.А. Фадеев, А.К. Гайсин, З.С. Гибалина
Научный руководитель: профессор, д. ф.- м. н. А.Ф. Надеев
КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева,
Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 10, 420111
E-mail: akgaisin@gmail.com

В настоящее время формат малых спутников CubeSat широко используются в науке и образовании. Одним из перспективных направлений исследований в этой области является повышение пропускной способности канала связи. Преимущества спутников данного формата такие, как низкие затраты на производство и вывод на орбиту, являются причиной существенных ограничений – малые размеры не позволяют разместить производительную систему электропитания, антенную систему и приемопередатчик с высоким коэффициентом усиления. Вследствие этого пропускная способность канала связи недостаточна для использования в прикладных задачах. Одним из перспективных решений данной проблемы является использование группировки спутников малых форматов и алгоритмов распределенной связи.

В предложенном проекте рассматривается частотный диапазон 2,4 ГГц, как наиболее активно используемый в текущих проектах CubeSat. Также проводилась оценка диапазонов 146/430 МГц как возможное приложение для телеметрии.

В предыдущих работах авторов было показано, что для восходящей линии при использовании передатчиков с мощностью до 15 Вт, зеркальной антенны с коэффициентом усиления 35 дБи и полосы частот 10 МГц для несущей частоты 2.4 ГГц, мы можем рассчитывать на отношение сигнал/шум до 26 дБ. Для нисходящего канала в той же полосе частот с мощностью передачи 1 Вт, коэффициентом усиления антенны равным 7.3 дБи достижимое отношение сигнал/шум 8 дБ. Также было показано, что OQPSK (квадратурная фазовая манипуляция со сдвигом) является наиболее перспективной модуляцией в терминах вероятности битовых ошибок (BER – Bit Error Ratio), а, следовательно, позволяет уменьшить отношение сигнал-шум при заданной BER = 10^{-4} , которая является достаточной, в том числе для передачи голосовой информации [1].

Для моделирования канала связи в соответствии с [2] использовалась комбинация логонормального замирания и замирания Райса. В ходе моделирования рассматривались два крайних случая: сильные замирания и слабые замирания. Также для схемы с пространственным разнесением использовался ассиметричный канал, в котором были слабые замирания на одном пути распространения и сильные замирания на другом.

В целях повышения пропускной способности спутникового канала предложено использовать кооперативную систему связи рис.1., базирующуюся на блочных методах пространственно-временного кодирования.

Так хорошо известная схема Аламоути представляется одной из самых перспективных для достижения лучших показателей BER [3]:

$$S_{t_1, t_2} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 \\ -c_2^* & c_1^* \end{bmatrix},$$

где S_{t_1, t_2} - матрица передаваемых символов c , а строки соответствуют временным слотам, во время которых символы комбинируются между двумя антеннами. При стабильном и производительном межспутниковом канале со сверхмалыми задержками, два спутника можно рассматривать, как одно устройство. Для межспутниковой связи предлагается использовать

модуляции высокого порядка (8-PSK, 16-QAM). Фазовая синхронизация может быть обеспечена при помощи глобальных навигационных систем.

В ходе исследований были проведены моделирования для различных сценариев кооперативной связи и различных условиях замираний на двух нисходящих каналах связи. Как видно из рис. 2, схемы с множественным пространственным разнесением (MIMO – Multiple Input Multiple Output и MISO - Multiple Input Single Output) превосходят в разы доступ по классической схеме SISO (Single Input Single Output) в терминах помехоустойчивости, а значит и энергетической эффективности и пропускной способности.

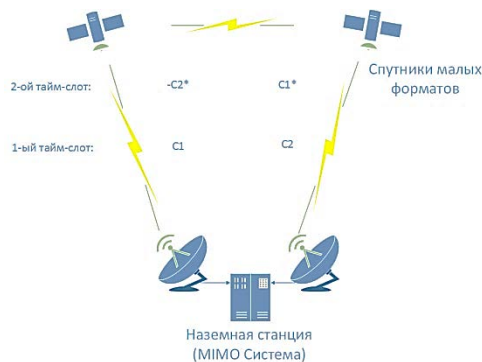


Рис. 1. Кооперативная система спутниковой связи

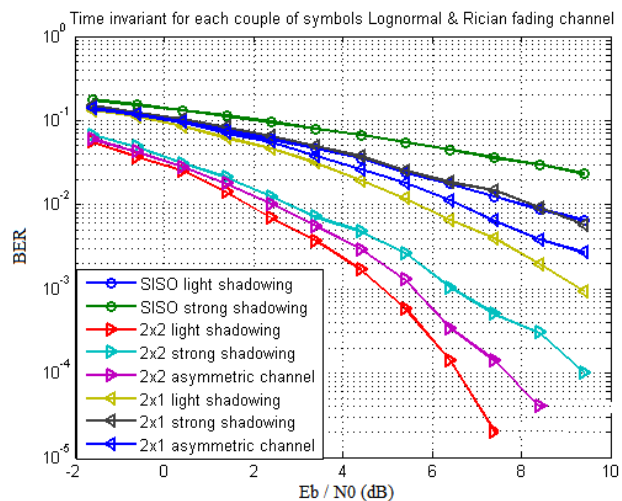


Рис.2. Кривые битовых ошибок для схем пространственного разнесения Аламути

Также авторами была проведена оценка возможных энергетических выигрышей при совместном использовании техник канального кодирования и пространственно-временного кодирования. Результаты моделирования показали, что для нисходящей линии рекомендуется использовать код LDPC (Код с малой плотностью проверок на чётность), т.к. его возможности превосходят перфорированные Turbo-коды, и для его реализации необходимы меньшие вычислительные затраты.

Полученные результаты показали, что использование кооперативных схем является перспективным направлением для систем связи на базе малых космических аппаратах. Также в дальнейшем данный метод может быть использован при разработке низкоорбитальных систем глобальной спутниковой связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Fadeev, A. Gaysin, M. Hennhöfer. Survey of modulation and coding schemes for application in CubeSat systems. Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, IEEE, 2017.
2. Giovanni E. Corazza and Francesco Vatalaro, A statistical model for land mobile satellite channels and its application to nongeostationary orbit systems, Transactions on Vehicular Technology, vol. 43, no. 3. August 1994.
3. Z. Guo-zhen, H. Bao-hua, M. Jing, One scheme of cooperative diversity with two satellites based on the alamouti code, IEEE 2010.